

MĚŘENÍ DOHLEDNOSTI DIGITÁLNÍM FOTOAPARÁTEM

MEASUREMENT OF VISIBILITY BY DIGITAL CAMERA

Vladimír Brázda¹, Muhammad Ijaz², Joaquín Pérez Soler³, Ondřej Fišer⁴

Anotace: Snížená dohlednost výrazně ovlivňuje přenos optických bezkabelových spojů a zároveň je kritickým faktorem bezpečnosti v dopravě. V příspěvku je navržena a otestována metoda měření dohlednosti využívající digitální fotoaparát. Navržená metoda je schopna měřit dohlednost mezi dvěma pevně danými body a využívá definice dohlednosti o poklesu kontrastního poměru na 2 %. Naměřené hodnoty za přítomnosti dvou různých typů mlhy jsou úspěšně ověřeny porovnáním s Kimovým vzorcem. Další testování navržené metody odhalilo, že je nutné mít správně nastavené vyvážení bílé barvy (White Balance) ve vztahu ke zdroji světla.

Klíčová slova: dohlednost, optický bezkabelový spoj, digitální fotoaparát, kontrast.

Summary: Reduced visibility significantly affects the transmission of Free Space Optical Links and also is a critical factor in traffic safety. Method for measuring visibility using a digital camera is designed and tested in this paper. The proposed method is able to measure visibility between two fixed given points and uses the definition of visibility of contrast ratio decreased to 2 %. Measured values are successfully validated in presence of two types of fog by comparison with the Kim formula. Further testing of the method revealed that White Balance has to be set properly in relation to the light source.

Key words: visibility, free space optical link, digital camera, contrast.

ÚVOD

V posledních letech výrazně roste poptávka a produkce optických bezkabelových spojů (OBS). Tyto spoje jsou alternativou pro klasické mikrovlnné rádiové spoje a vynikají svojí přenosovou rychlostí, vysokou bezpečností dat i faktem, že pro jejich provoz není potřeba licence. Hlavní nevýhodou OBS stále zůstává vliv reálného přenosového prostředí na jejich dostupnost. Optický signál se nejvíce rozptyluje na kapkách, které mají srovnatelné rozměry s jeho vlnovou délkou (800 – 1600 nm). Největší vliv na přenos OBS má tedy mlha, která je charakterizována veličinou dohlednost. Naše předchozí výzkumy (1) dokázaly, že korelace mezi útlumem optického spoje a dohledností dosahuje téměř 90 %. Též v dopravě je

¹ Ing. Vladimír Brázda, Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektrotechniky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 466 037 109, E-mail: vladimir.brazda@student.upce.cz

² M.Sc. Muhammad Ijaz, Northumbria University, Computing, Engineering & Information Sciences, NE1 8ST, Newcastle upon Tyne, UK, E-mail: muhammad.ijaz@northumbria.ac.uk

³ Dr. Joaquín Pérez Soler, Northumbria University, Computing, Engineering & Information Sciences, NE1 8ST, Newcastle upon Tyne, UK, E-mail: joaquin.perez@northumbria.ac.uk

⁴ doc. Ing. Ondřej Fišer, CSc., Ústav fyziky atmosféry AV ČR v.v.i., Boční II/1401, 141 31 Praha 4, E-mail: ondrej@ufa.cas.cz

dohlednost důležitá veličina. Zmenšená dohlednost ohrožuje bezpečný provoz na silnicích i na letišti.

V odborné literatuře se vyskytují dvě definice dohlednosti:

„Dohlednost je vzdálenost, v níž je kontrast daného objektu a jeho pozadí právě roven prahu kontrastové citlivosti oka pozorovatele.“ (2).

Pro instrumentální měření dohlednosti bylo potřeba definovat dohlednost i pomocí měřitelných veličin:

„Dohlednost je vzdálenost x , kde kontrastní poměr $C_T(x)$ klesne na 2%“ (3).

Z historie je tato veličina měřena pozorovateli, kteří využívají známých a různě vzdálených objektů. Na základě druhé zmíněné definice se používá několik různých technik. Nejrozšířenější systém je založen na principu dopředného rozptylu světla. Přístroj sestává z optického vysílače a přijímače, přičemž jejich osy jsou vzájemně vychýlené. Dohlednost je pak nepřímo úměrná intenzitě světla, která se odráží od hydrometeorů a dopadá na přijímač. Tento systém poskytuje pouze bodové měření a přístroje bývají drahé.

Další možností je snímání panoramatické fotografie s různě vzdálenými známými objekty (4). Tento systém je založen na detekci hran a odpovídá klasickému měření dohlednosti pozorovateli.

Pro potřeby výzkumu optických bezkabelových spojů a vlivů reálné atmosféry na jejich přenos potřebujeme systém měřící mezi dvěma pevně danými body (přijímač a vysílač optického spoje). Tuto podmínku nesplňuje ani jeden výše zmíněný systém, prezentujeme a ověřujeme zde tedy techniku, která vyhovuje našim požadavkům. Navrhovaný systém využívá běžně dostupný digitální fotoaparát a je tedy levnou variantou k drahým měřicím přístrojům.

1. PRINCIP METODY

Teoretický přístup je inspirován článkem (5). Do určité vzdálenosti x umístíme černobílý terč, který je snímán kamerou či digitálním fotoaparátem. Z fotografií poté určíme dohlednost pomocí následujícího algoritmu. Princip metody vychází z druhé výše uvedené definice dohlednosti. Kontrastní poměr je definován jako poměr zdánlivého kontrastu C ke kontrastu vlastnímu C_0 :

$$C_T = \frac{C}{C_0} \quad (1)$$

Vlastní kontrast je v našem případě kontrast terče změřený v jeho blízkosti. V případě ideálního černobílého objektu je vlastní kontrast roven 1.

Samotný kontrast je definován A. Michelsonem následovně (6):

$$C = \frac{L_w - L_b}{L_w + L_b}, \quad (2)$$

kde L_w je svítivost (luminance) bílé části terče a L_b je svítivost černé části terče. Díky faktu, že jde o poměr mezi oběma svítivostmi, není nutné znát absolutní svítivost v cd/m^2 . Postačuje relativní svítivost ve stupních šedi určená z fotografie.

V případě černobílé fotografie uložené např. ve formátu 8-bitového JPEG je každý pixel reprezentován hodnotou 0 až 255, kde 0 značí černou a hodnota 255 bílou barvu. V případě barevného JPEG lze ve vývojovém prostředí Matlab každý pixel rozložit na složky RGB a standardním převodem do stupňů šedi získat hledanou svítivost.

Pokud umístíme terč do vzdálenosti x , jsme schopni dle rovnice (2) určit kontrastní poměr pro tuto vzdálenost. Abychom mohli určit dohlednost, můžeme využít Beer-Lambert-Boguerův zákon (5):

$$C = C_0 e^{-\beta x}, \quad (3)$$

kde β je absorpční koeficient. Dohlednost je dle druhé zmíněné definice vzdálenost, kde kontrastní poměr klesne na 2%. Musí tedy platit následující rovnice:

$$C_T = \frac{C}{C_0} = e^{-\beta V} = 0.02 \quad (4)$$

V tomto případě se vzdálenost x stane dohledností V . Po úpravě dostaneme výsledný vztah:

$$V = \frac{\ln(0.02)}{\ln\left(\frac{C}{C_0}\right)} \cdot x, \quad (5)$$

kde V je dohlednost [m], x je vzdálenost mezi kamerou a terčem [m], C je zdánlivý kontrast měřený ve vzdálenosti x a C_0 je vlastní kontrast terče.

2. REALIZACE EXPERIMENTU

Pro ověření správnosti navržené metody je nejvhodnější porovnání s široce používaným vzorcem mezi útlumem optického signálu a dohledností dle I.I.Kima (7):

$$\alpha_0 = \frac{3.91}{V} \cdot \left(\frac{\lambda_{nm}}{550}\right)^{-q} [\text{m}^{-1}] \quad (6)$$

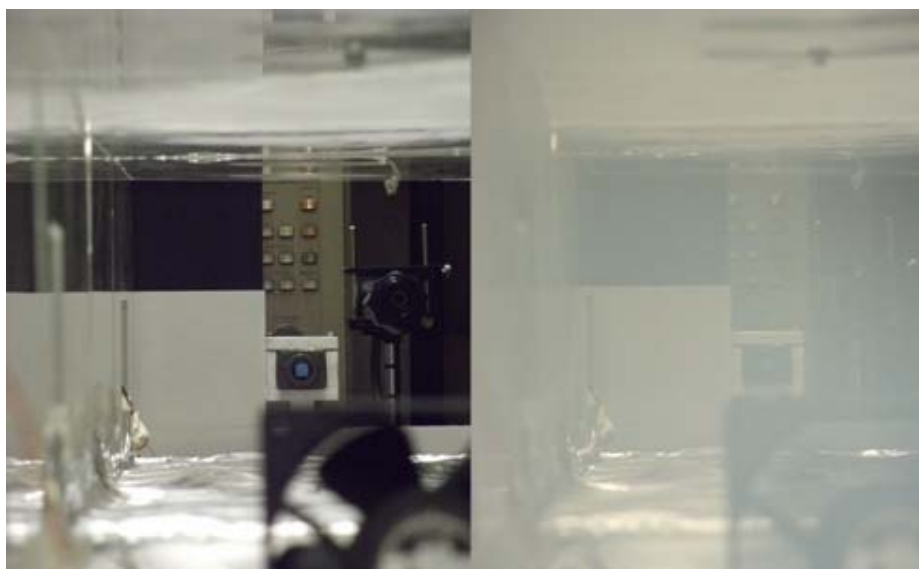
kde α_0 je měrný útlum v m^{-1} , V je dohlednost v m, λ je vlnová délka záření v nm a koeficient q závisí na aktuální dohlednosti V :

Tab. 1 – Koeficient q pro Kimův vzorec

$q=$	1.6	pro $V > 50$ km
	1.3	pro $6 \text{ km} < V < 50 \text{ km}$
	$0.16V+0.34$	pro $1 \text{ km} < V < 6 \text{ km}$
	$V - 0.5$	pro $0.5 \text{ km} < V < 1 \text{ km}$
	0	pro $V < 0.5 \text{ km}$

Vývoj a test experimentu byl proveden v laboratoři Northumbria university v Newcastle upon Tyne, UK. Laboratoř disponuje atmosférickou komorou, která umožňuje zkoumat vliv různých atmosférických jevů na přenos optického bezkabelového spoje. Rozměry komory jsou 30 cm x 30 cm x 5.5 m. Více detailů lze nalézt v (8), (9) a (10).

Na Obr. 1 je znázorněn průběh experimentu. Vlevo je fotografie bez mlhy ($C_0=0,9447$), zatímco situace se sníženou dohledností je zobrazena vpravo ($C=0,1703$). Na první pohled je patrný rozdíl mezi kontrasty na obou snímcích.



Zdroj: Autoři

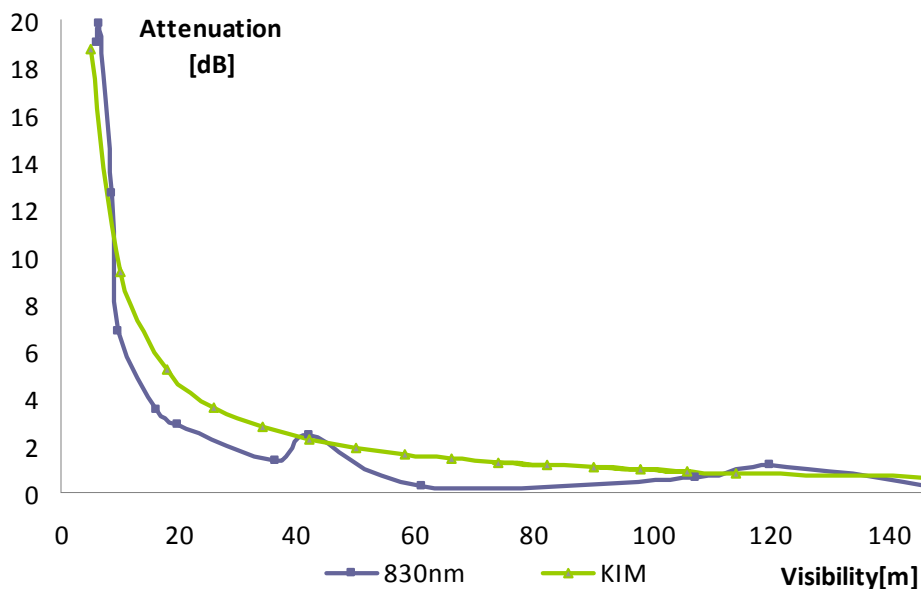
Obr. 1 - Porovnání kontrastů v situaci bez mlhy (vlevo) a v mlze (vpravo)

Využili jsme dvě možnosti jak vytvořit mlhu v laboratorních podmínkách. První z nich je použití glycerolového mlhovače, který vytváří velmi homogenní a dlouhotrvající mlhu. Vlastnosti této mlhy ovšem nemusí být porovnatelné s vlastnostmi přírodní mlhy kvůli odlišnému indexu lomu. Index lomu vody je 1.329 pro 830 nm, zatímco glycerol má hodnotu 1.466. Druhou možností je použití napařovače produkující vodní mlhu, která je již porovnatelná s mlhou přírodní, ale v laboratorním prostředí velmi rychle mizí.

Pro měření byl použit digitální fotoaparát GE X5 s CCD snímačem.

3. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

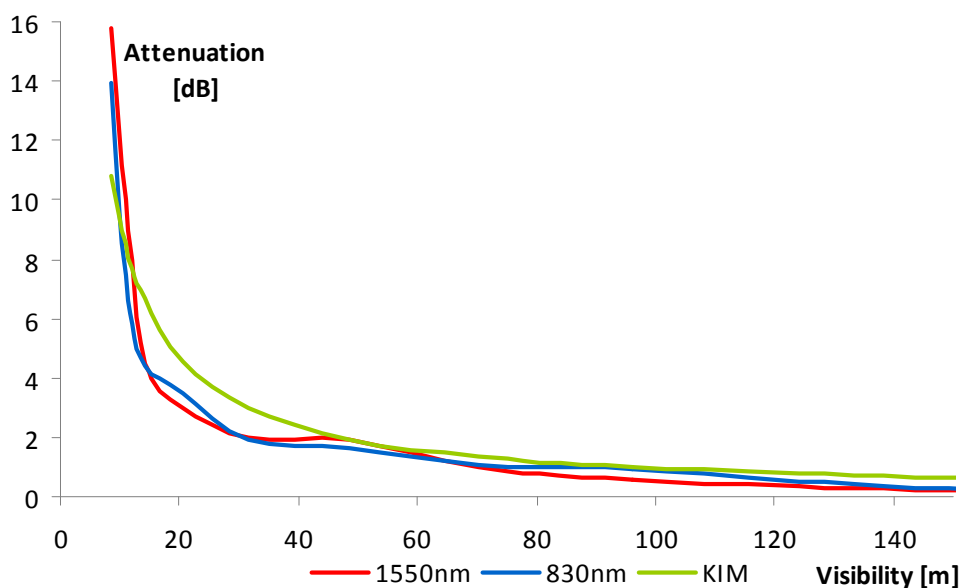
Na obr. 2 je zobrazen výsledek prvního experimentu v glycerolové mlze. Na ose x je dohlednost změřená fotoaparátem a na ose y je útlum optického signálu v komoře (délka 5.5 m).



Zdroj: Autoři

Obr. 2 - Závislost útlumu optického signálu (830 nm) na dohlednosti změřené kamerou - glycerolová mlha

Je zde dobrá shoda mezi naměřenými hodnotami a hodnotami spočtenými dle Kimova vzorce (7). Dokonce i ve velmi nízkých dohlednostech jsou relativně malé rozdíly. Výsledky měření s vodní mlhou jsou zobrazeny na Obr. 3.



Zdroj: Autoři

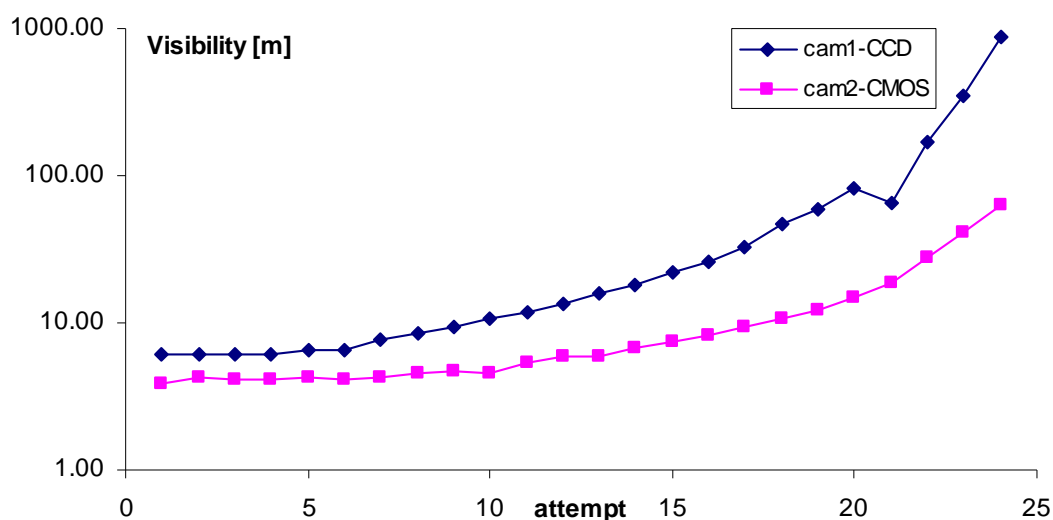
Obr. 3 - Závislost útlumu optického signálu na dohlednosti změřené kamerou - vodní mlha

Optické spoje o dvou vlnových délkách byly použity v tomto případě – 830 nm a 1550 nm. Nejnižší dosažená hodnota dohlednosti je v tomto případě okolo 8.5 m zatímco v případě glycerolové mlhy to bylo 6m. To vysvětluje rozdíl v nejvyšších hodnotách útlumu mezi oběma grafy. Nicméně platí fakt, že takto nízké dohlednosti se v přírodě běžně nevyskytují. Nejnižší hodnoty dohlednosti zaznamenané na observatoři Milešovka se pohybují okolo 20 metrů.

Důsledek rozdílných indexů lomu se zdá být zanedbatelný. Oba grafy mají velmi podobné průběhy. Rozdíl v útlumu na jednotlivých vlnových délkách je též zanedbatelný, tento fakt odpovídá Kimovu vzorci, který říká, že při dohlednosti pod 500 m útlum již na vlnové délce nezávisí (koeficient q se rovná nule).

4. TESTOVÁNÍ METODY

Následující experiment byl zrealizován za účelem otestovat navrženou metodu. Otázkou je, zda můžeme použít jakýkoliv fotoaparát a nastavení, abychom změřili dohlednost korektně. Snímali jsme fotografie dvěma různými fotoaparáty zároveň z protějších stran komory. První kamerou je GE-X5 s CCD senzorem (cam1-CCD) a druhou je digitální zrcadlovka Pentax K-X s CMOS senzorem (cam2-CMOS). Výsledek experimentu je na obr. 4.



Zdroj: Autoři

Obr. 4 - Porovnání dohledností měřených dvěma fotoaparáty s různým nastavením

Mezi naměřenými dohlednostmi je markantní rozdíl. Hlavní rozdíl není v různých typech sensorů ale v odlišném nastavení vyvážení bílé barvy (White Balance). Fotografie ve formátu JPEG či TIFF jsou zpracovávány obrazovým procesorem v samotném přístroji. Jedním z procesů je právě vyvážení bílé barvy. Porovnání obou fotografií je na obr. 5.



Zdroj: Autoři

Obr. 5 - Porovnání fotografií s odlišným nastavením vyvážení bílé barvy. Vlevo cam1-CCD, vpravo cam2-CMOS.

Při špatném vyvážení bílé barvy může mít fotografie různý barevný nádech, což značně zkresluje výsledky měření. Řešením může být použití formátu RAW, který poskytuje informace změřené přímo senzorem bez jakéhokoliv zpracování obrazu.

ZÁVĚR

V článku je prezentována metoda měření dohlednosti využívající jedné z definice, která říká, že dohlednost je vzdálenost, kde kontrastní poměr klesne na 2 %. Vývoj a testování metody probíhal v atmosférické komoře vybudované pro výzkum vlivu reálné atmosféry na přenos OBS. Naměřené hodnoty na Obr. 2 a 3 vykazují hodnoty blízké Kimovu vzorci a potvrzují tedy správnost navržené metody. Díky mnohonásobnému snížení pořizovací ceny oproti komerčním systémům na měření dohlednosti je tato metoda vhodná jak pro měření dohlednosti v dopravě, tak pro experimentální a výzkumné účely. Zároveň poskytuje vizuální kontrolu měřené oblasti. Testování vlivu různého nastavení fotoaparátu prokázalo, že zejména nesprávné nastavení vyvážení bílé barvy hraje velkou roli ve správnosti výsledku. Dalším krokem v budoucnu bude testování stávající metody s použitím kamery poskytující výstupní formát RAW, jenž neprochází žádným obrazovým zpracováním a poskytuje informace přímo ze senzoru.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl vytvořen v rámci projektu COST IC0802 za podpory grantu SGFEI01/2012 Univerzity Pardubice a grantu GAČR P102/11/1376.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) BRÁZDA, V., FIŠER, O., PEŠICE, P., PEŠEK, J. *Combination of two visibility sensors to predict fog attenuation on FSO links*, Proceedings of the 2011 11th International Conference on Telecommunications (ConTEL), pp.199-202, 15-17 June 2011.

- (2) BEDNÁŘ, J. et al. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*, MŽP Praha, 1993
- (3) KRUSE, P.W., MCGLAUCHLIN, L.D., MCQUISTAN, R.B. *Elements of Infrared Technology: generation, transmission and detection*. [s.l.] : J.Wiley & Sons, 1962.
- (4) BÄUMER D., VERSICK S., VOGEL B., Determination of the visibility using a digital panorama camera, *Atmospheric Environment*, Vol. 42, Iss. 11, pp. 2593-2602, April 2008.
- (5) COLVERO C.P., CORDEIRO M.C.R., VON DER WEID J.P., New Proposal for Real Time Measurements of Visibility and Signal Levels in Free Space Optical Systems, *Microwave and Optoelectronics*, SBMO/IEEE MTT-S International Conference, pp. 344 – 347, 2005.
- (6) MICHELSON, A. *Studies in Optics*. U. of Chicago Press, 1927.
- (7) KIM, I.I.; McARTHUR, B.; KOREVAAR. E. Comparison of Laser Beam Propagation at 785nm and 1550nm in Fog and Haze for Optical Wireless Communications. [s.l.] : *Proc. SPIE*, Vol.4214 Optical Wireless Communications III., 2001.
- (8) IJAZ, M., GHASSEMLOOY, Z. ANSARI, S., ADEBANJO, O., LE MINH, H., RAJBHANDARI, S. GHOLAMI, A., Experimental investigation of the performance of different modulation techniques under controlled FSO turbulence channel, *Proc. of 5th International Symposium Telecommunications (IST)*, pp.59-64, 4-6 Dec. 2010.
- (9) PEREZ, J.; GHASSEMLOOY, Z.; RAJBHANDARI, S.; IJAZ, M.; MINH, H.L.; Ethernet FSO Communications Link Performance Study Under a Controlled Fog Environment, *Communications Letters*, IEEE , vol.16, no.3, pp.408-410, March 2012.
- (10) RAJBHANDARI, S.; GHASSEMLOOY, Z.; PEREZ, J.; LE MINH, H.; IJAZ, M.; LEITGEB, E.; KANDUS, G.; KVICERA, V.; On the study of the FSO link performance under controlled turbulence and fog atmospheric conditions, *Proceedings of the 2011 11th International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, pp.223-226, 15-17 June 2011.